

## 경 부하에서 유도전동기 회전자 바 고장 진단의 개선

양철오\*, 김형진\*, 박규남\*, 송명현\*  
순천대학교 전기공학과\*

### Improvement on Diagnosis of Rotor Bar Fault of Induction Motor in Light Load

Chul-oh Yang\*, Heung-jin Kim\*, Kyu-nam Park\*, Myung-hyun Song\*,  
Sunchon National University\*

**Abstract** - 본 연구에서는 경 부하 구간에서 유도전동기의 회전자 바 고장 진단을 개선하는 방법을 제안하였다. 유도전동기의 회전자 바 고장 진단에 있어 25% 이하의 경 부하에서 정확한 진단이 어렵다. 경 부하에서는 종래의 방법에서 적용했던 회전자 바 고장 특징주파수 대역과 다른 특징 주파수 대역을 적용하여 진단하는 방법을 제안하였다. 기존에 진단이 어려웠던 경 부하에서 유도전동기 회전자 바 고장 진단을 개선하는 방법을 제안하고 실험을 통해 그 타당성을 입증하였다.

#### 1. 서 론

유도전동기는 산업 전반에 걸쳐 폭 넓게 사용되고 있다. 유도전동기의 갑작스런 고장은 구동장치를 사용하는 전체 시스템에 대한 신뢰도 및 안전성을 저하시키고 경제적인 손실을 초래할 수 있다. 따라서 중요한 전동기는 어떤 형태로든 초기 결함을 감지하여 계획적인 예방정비 또는 적기에 수리가 이루어질 수 있는 결함 검출 방법이 필요하다.

유도전동기의 여러 가지 고장 중 회전자 바 고장은 자주 발생하는 결함 중에 하나이다. 또 유도전동기의 회전자 바 고장에 따른 토크성능 저하는 파손된 회전자 바가 1개(40개중)인 경우 성능저하는 2~4[%]이고 3~5개의 파손인 경우 10~15[%]로 연구되었다[1]. 따라서 회전자 바 고장 진단에 대한 연구가 요구되어 현재 여러 가지 진단 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

종래의 유도전동기 회전자 바 고장 진단에서는 25% 부하 이하의 경 부하 구간에서는 고장 유무를 분별하기 힘들다[2]. 따라서 본 연구에서는 경 부하 구간에서도 정상 유도전동기와 1 broken bar 고장을 갖는 유도전동기를 구분할 수 있는 진단 방법을 제안하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1.1 회전자 바 고장 특징 주파수

회전자 바 고장은 고정자 선 전류에서 관측되는 회전자 바 결함 주파수 성분을 이용하여 회전자 바 고장을 검출 할 수 있다. 선 전류 스펙트럼상의 회전자 바 고장의 특성 주파수는 식(2.1)과 같이 전기적 공급 전류 주파수 주변에 새로운 측파대에서 순차적으로 발생한다[3].

$$f_b = (1 \pm 2ks)f_e \quad k=1,2,3,\dots \quad (1)$$

여기서,  $f_b$ 는 회전자 바 결함 주파수,  $f_e$ 는 공급전류 주파수,  $s$ 는 슬립(slip),  $k$ 는 상수

$f_b$ 의  $(1-2ks)f_e$  성분(the Lower Sideband: LSB)은 회전자 바 고장으로 인하여 발생하게 되고,  $(1+2ks)f_e$  성분(the Upper Sideband:USB)은 속도 진동의 결과로서 발생한다[4]. 회전자 바 고장의 LSB와 USB를 비교하였을 때 LSB가 USB보다 진폭의 크기가 크게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 회전자 바 결함 주파수의 LSB 주파수 성분을 이용해 진단하였으므로 이하 회전자 바 결함 특징 주파수는 LSB 성분이며 식 (2)와 같이 정의한다. 또 식 (3)에 의해 다이내모메타에 의해 제어되는 회전자 바 고장 진단을 구하였다.

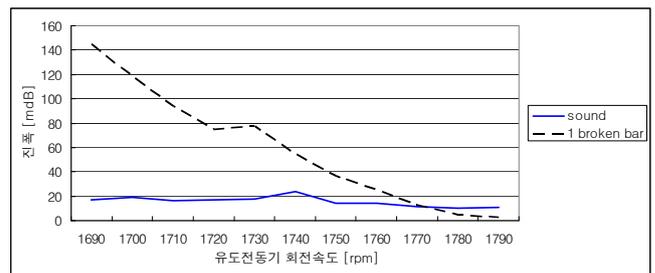
$$f_{bk} = (1-2ks)f_e \quad k=1,2,3,\dots \quad (2)$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (3)$$

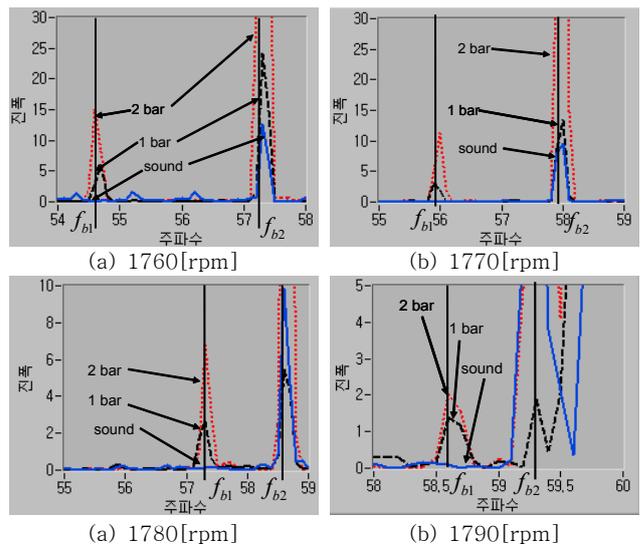
여기서,  $f_{bk}$ 는  $k$ 에 따른 유도전동기 회전자 바 고장 특징주파수,  $N_s$ 는 유도전동기 동기속도,  $N$ 은 유도전동기 회전자 바

##### 2.1.2 $f_{b1} (k=1)$ 일 때 회전자 바 고장 특징주파수에서 진폭의 크기

유도전동기 회전자 바 고장의 특징주파수 진폭의 크기는 유도전동기의 부하가 클수록 커진다. 상대적으로 경 부하 구간에서는 유도전동기 회전자 바 고장 특징주파수 진폭의 크기가 작다. <그림 1>은 유도전동기 회전속도 변화에 따른 정상 유도전동기와 1 broken bar 유도 전동기의  $f_{b1}$ 의 진폭의 크기를 비교한 그래프이다. <그림 1>에서 실선은 정상 전동기의 특징주파수 대역 진폭의 크기이고, 점선은 1broken bar 전동기의 특징주파수 대역 진폭의 크기이다. 유도전동기의 회전속도 증가, 즉 부하 감소에 따라 정상 전동기는 특징주파수 진폭의 크기 감소폭이 작은 반면에 1 broken bar 전동기는 특징주파수 진폭의 크기 감소율이 크다. 이로 인해 전동기의 회전속도가 1770[rpm]을 넘는 경 부하 구간에서는  $f_{b1}$ 에서 진폭의 크기 차로 유도전동기의 회전자 바 고장을 진단하기 어려움을 알 수 있다.



<그림 1> 회전속도 변화에 따른 회전자 바 상태별  $f_{b1}$ 의 비교



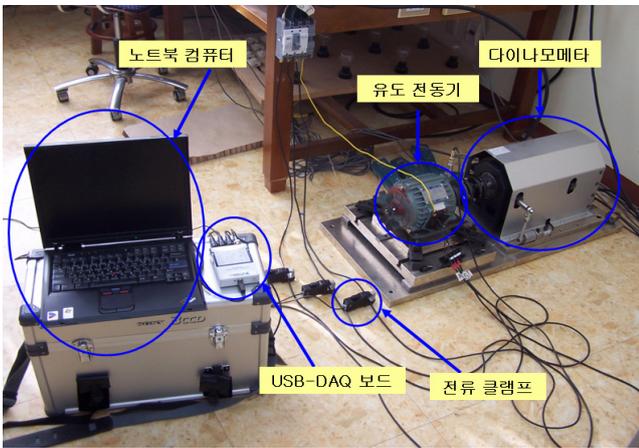
<그림 2> 경 부하에서  $f_{b1}$ 과  $f_{b2}$ 에서의 진폭 비교

<그림 2>는 각각 전동기 회전속도가 1760~1790[rpm]일 때의 회전자 바 상태별 주파수 스펙트럼을 나타내고,  $f_{b1} (k=1)$ 과  $f_{b2} (k=2)$ 에서 진폭의 크기 변화를 보여준다. 회전속도가 증가함에

따라 1 broken bar 전동기의  $f_{b1}$  진폭이 정상 전동기의  $f_{b1}$  진폭보다 작아진다. 반면에  $f_{b2}$  진폭은 1790[rpm]의 속도(무 부하)까지 1 broken bar 전동기의  $f_{b2}$  진폭 크기가 정상전동기의  $f_{b2}$  진폭의 크기보다 크다. 따라서 전동기 회전속도가 1770[rpm]보다 빠를 때, 즉 경 부하 구간에서는  $f_{b1}$ 보다  $f_{b2}$ 의 진폭 크기를 이용해 회전자 바 고장을 진단하는 것이 더욱 용이하다.

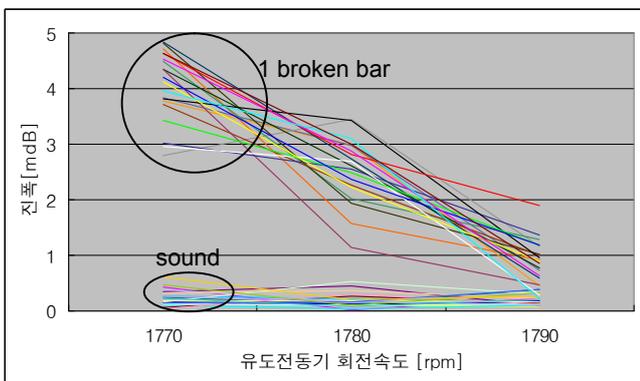
### 2.3 실험 결과 및 검토

<그림 3>은 실험에 사용된 실험장치의 구성도이다. 실험에 사용된 전동기는 효성 3상 1마력 유도전동기이다. 유도전동기의 부하 효과를 위해 다이어나모터를 연결하여 유도전동기의 회전속도를 제어하였다. 전류 신호 검출을 위해 FLIKE사의 i5s AC Current Clamp를 한 상에 연결하였으며, USB-DAQ 보드는 NI(National Instrument)사의 USB 9215A with BNC를 사용하였고, USB 2.0을 이용하여 펜티엄 노트북 컴퓨터와 연결하여 전류 신호를 수집하였다. 본 연구에서는 한 개의 고정자에 정상 회전자와 1 broken bar 회전자를 교체해가며 두 가지의 회전자 바 상태별 유도전동기 샘플을 이용하여 실험하였다. 두 가지의 유도전동기 샘플별로 전동기 회전속도를 1770[rpm]에서부터 10[rpm]씩 증가시켜가며, 유도전동기 공급전원의 전류신호를 20회 반복하여 수집하였다.



<그림 3> 실험장치 구성도

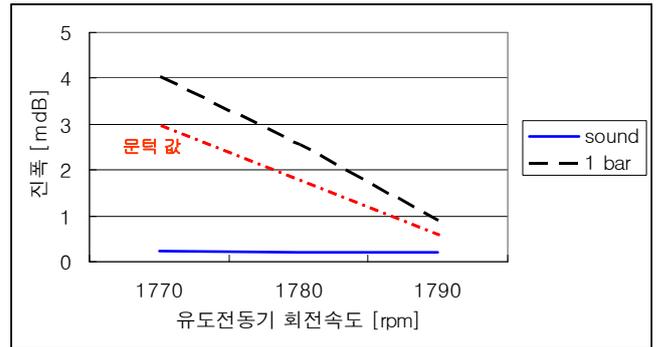
<그림 4>는 유도전동기의 회전속도가 1770[rpm]보다 빠른 경 부하 구간에서 전동기의 회전속도를 10[rpm]씩 증가시켜가며 정상 전동기와 1 broken bar 전동기의 공급전원 전류 신호를 20회씩 수집 한 데이터를 FFT 변환하여, 주파수 스펙트럼에서  $f_{b2}$ 의 진폭의 크기를 구하여 나타낸 그래프이다. 1 broken bar 전동기  $f_{b2}$ 의 진폭의 크기가 정상 전동기  $f_{b2}$ 의 진폭의 크기보다 크게 나타남을 확인할 수 있다.



<그림 4> 경 부하에서 정상 전동기와 1 broken bar 전동기  $f_{b2}$ 의 진폭의 크기

<그림 5>는 <그림 4>에 나타난 샘플 데이터의  $f_{b2}$ 에서 진폭 크기의 평균값을 나타낸 그래프이다. <그림 5>에서 실선은 정상 전동기의 실험 데이터의 평균값이고, 점선은 1 broken bar 전동기의 실험 데이터의 평균값이다. 그림에서 알 수 있듯이 정상 전동기와 1 broken bar 전동기의

$f_{b2}$ 의 진폭의 크기의 차가 있어 그림과 같이 적절한 문턱 값을 설정하여 진단이 가능함을 확인할 수 있다.



<그림 5> 경 부하에서 정상 전동기와 1 broken bar 전동기의  $f_{b2}$ 에서 진폭의 크기 변화

### 2. 결 론

종래에는 경 부하에서 유도전동기 회전자 바 고장 진단의 어려움이 있었다. 본 연구에서는 종래에 경 부하에서 유도전동기의 회전자 바 고장의 진단이 어려운 점을 개선할 수 있는 방법을 제안하였다.

종래에 유도전동기의 회전자 바 고장 진단에 있어, 경 부하에서는  $f_{b1}$  ( $k=1$ 일 때 회전자 바 고장 특징주파수)에서의 진폭의 크기를 이용하는 방법보다  $f_{b2}$  ( $k=2$ 일 때의 회전자 바 고장 특징주파수)에서의 진폭의 크기를 이용하여 진단하는 방법이 더 용이함을 주파수 스펙트럼 분석을 통해 확인하였다. 그리고 실험을 통해 정상전동기와 1 broken bar 전동기의 주파수 스펙트럼에서  $f_{b2}$ 의 진폭의 크기값을 비교함으로써 경 부하에서도 진단이 가능함을 확인하였다.

본 연구의 실험 결과는 경 부하에서 유도전동기 회전자 바 고장 자동 진단 알고리즘에서 문턱 값 설정의 근거가 된다. 앞으로 본 연구의 실험 결과를 바탕으로 경 부하에서도 유도전동기의 회전자 바 고장 진단이 가능하도록 적절한 문턱 값 설정과 효과적인 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 또 실험을 통해 그 문턱 값 설정과 알고리즘의 타당성 입증에 대한 연구가 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Nagwa M. Elkasabgy, Anthony R. Eastham, Graham E. Dawson, "Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine", IEEE Transactions on Industry applications 28(1), pp165-171, 1992.
- [2] 송면현, 박규남, 한동기, 양철오, "팍스백터 패턴을 이용한 회전자 바 고장 자동진단", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp18-20, 2007
- [3] O. V. Thomson. and M. Dalva, "Methods of condition monitoring and fault diagnosis for induction motors", ETEP Journal, Vol. 8. No. 5, pp. 383-395, 1998.
- [4] G. B. Kilman, R.A. Koegl, J. Stein, R. D. Endicott, M. W. Madden, "Noninvasive detection of broken rotor bars in operating induction motors", IEEE Trans. Energy Conv. Vol. EC-3. No. 4, pp. 873-879, December 1988.